



ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPAS CONCENTRADAS DE HIDRÓXIDO DE MAGNÉSIO PARA SECAGEM EM SPRAY

DIEGO H. S. CHAVES^{1*}, ELAINE C. CAMPOS¹, SÔNIA D. F. ROCHA²,
VIVIANE S. BIRCHAL¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

² Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Minas

*e-mail: diegohschaves@outlook.com

RESUMO - O comportamento reológico de polpas concentradas de hidróxido de magnésio foi estudado a três temperaturas distintas (27, 35 e 50°C). A adição de dispersante de poliacrilato de sódio foi avaliada como agente de melhoria na fluidez e estabilidade. Foram investigadas polpas com concentração de sólidos entre 20 e 30% e foi estabelecida a faixa de solução dispersante variando de 0,42% a 2% para as polpas analisadas. O modelo reológico de Casson foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. A adição de dispersante acarreta uma redução no valor de tensão crítica de escoamento, melhorando a condição necessária para o escoamento das polpas. Além disso, há redução da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. A tendência é que a adição de dispersante às polpas promova uma menor aglomeração do produto às paredes da câmara de secagem. As cinco polpas estudadas apresentam comportamento tixotrópico que deve ser mais bem estudado a fim de estabelecer a melhor maneira de processar essas polpas para viabilizar a atomização da polpa no secador *spray*.

INTRODUÇÃO

A obtenção de magnésia, ou óxido de magnésio (MgO), é realizada por meio do processamento do mineral magnesita. Dentre os derivados da magnésia, é possível destacar o hidróxido de magnésio (Mg(OH)₂ – denominado HM neste trabalho), obtido pela hidratação de MgO em água e que apresenta uma demanda crescente em diversos segmentos industriais. O interesse pelo HM tem aumentado nas últimas décadas em função de suas mais recentes aplicações e das possibilidades de sua utilização em diversos processos industriais, principalmente como alcalinizante em tratamento de efluentes (Tong *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2006) e como retardante de chamas em polímeros e resinas epóxi (Pilarska *et al.*, 2015, Suihkonen *et al.*, 2012; Rocha e Ciminelli, 2001).

A calcinação direta do hidróxido pode ser econômica e conveniente, porém esta raramente permite a obtenção de materiais com dimensões

específicas, tendo em vista o aglomerado formado e as condições de temperaturas altas durante essa etapa (Birchal *et al.*, 2000).

Uma nova rota para produção de HM foi proposta por Santos (2017) e Campos (2018) com duas principais mudanças na rota convencional como apresentado na Figura 1. Santos (2017) utilizando um moinho de bolas como reator-fragmentador confirmou a viabilidade técnica do uso deste equipamento para a hidratação da magnésia cáustica com redução do tamanho das partículas do produto e melhor desempenho deste novo processo quando comparado ao do processo convencional. Campos (2018) realizou a análise da viabilidade técnica da utilização de um secador *spray* na linha de saída do reator-fragmentador indicando a necessidade de intermitência de alimentação da suspensão e relatou que a adição de dispersante às polpas analisadas promove uma menor tendência de aglomeração do produto às paredes da câmara de secagem.

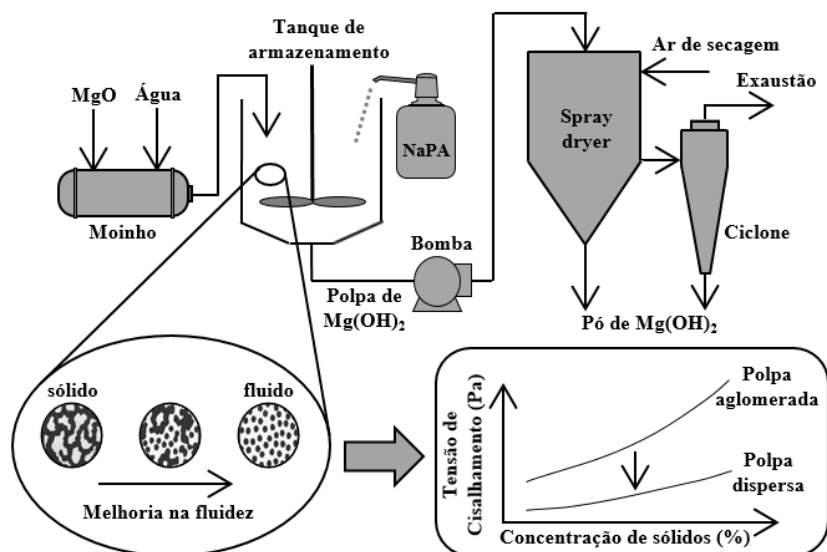


Figura 1 – Esquema da nova rota proposta do processo de obtenção de HM em pó.

Poucos trabalhos têm sido publicados dando ênfase à cinética e aos processos de secagem dos compostos obtidos pela hidratação da magnésia (Campos *et al.*, 2019; Pilarska *et al.*, 2011). O estudo da etapa de secagem é indispensável para o controle da produção de HM, garantindo os requisitos de qualidade do produto de forma a atender a necessidade do mercado consumidor. Entretanto, as polpas de HM são difíceis de serem processadas devido às altas viscosidades que aumentam consideravelmente com o acréscimo da concentração de sólidos, principalmente para polpas com concentrações acima de 35% (Aral *et al.*, 1999).

Adicionalmente, se estas polpas não forem agitadas continuamente, as partículas (dependendo do seu tamanho e formato) podem flocular interligando-se em uma estrutura reticular, que se adensa com a expulsão de água e resultando em redes rígidas e irreversíveis que tornam impossível o escoamento (Tong *et al.*, 2013). Tal problema não só inviabiliza o transporte, processamento e armazenamento das polpas concentradas de HM como, e principalmente, incentiva novos avanços na obtenção do HM em pó com propriedades específicas que atendam suas aplicações. Sabendo-se que as polpas de HM são liofóbicas (solubilidade baixa do HM em água), a adição de um dispersante se faz necessária para assegurar sua fluidez. Os dispersantes de poliacrilatos de sódio são os mais utilizados no

mercado para a estabilização de suspensões de HM (Tong *et al.*, 2013).

Assim, o objetivo deste trabalho é investigar o comportamento reológico de polpas concentradas de HM e avaliar a influência da adição de dispersante como agente de melhoria na fluidez e estabilidade nessas polpas. Ressalta-se que as polpas analisadas foram obtidas pelo HM sintético e não reativo (comprovado pela ausência de MgO em sua composição). O comportamento reológico obtido para este tipo de polpa é mais estável e previsível (Campos, 2018) sendo considerado como referência para posterior avaliação da secagem por *spray* de polpas reativas em um processo contínuo de produção de HM.

MATERIAIS E MÉTODOS

As polpas de HM foram preparadas a partir do pó de HM comercial, padrão analítico com 97% de pureza (valor fornecido pelo fabricante). Em béquer de vidro e sob agitação mecânica, adicionou-se a massa de pó de HM à massa de água destilada, ambas massas previamente calculadas para a concentração de sólidos desejada (Equação 1). A adição de dispersante é quantificada em relação à quantidade de massa de sólidos na suspensão (Equação 2). Manteve-se o agitador mecânico em 650 rpm por um período de 10 minutos para cada amostra preparada. Uma alíquota de 8 mL

retirada do recipiente com agitação era inserida na cápsula do adaptador do viscosímetro para iniciar o teste.

$$C_s = \frac{m_s}{m_{susp}} (\%) \quad (1)$$

$$X_{disp} = \frac{m_{disp}}{m_s} (\%) \quad (2)$$

O comportamento reológico de cada uma das polpas de HM analisadas (Tabela 1) foi determinado no viscosímetro rotativo digital, devidamente calibrado, marca Brookfield, modelo LVDV-I Prime, tendo como acessórios um adaptador para processamento de pequenas amostras de fluido com rotor cilíndrico coaxial (precisão $\pm \frac{60}{N}$ cp sendo N a velocidade de rotação do rotor). Como sugerido pelo certificado de calibração, as medidas de viscosidade foram consideradas válidas na faixa de 10% a 80% do torque aplicado. Um banho com controle de temperatura ($\pm 2^\circ\text{C}$) foi utilizado para manter a amostra à temperatura constante ao longo dos experimentos.

Tabela 1 – Densidades e denominação das polpas estudadas de HM sem e com dispersante.

Polpas de HM (*)	X_{disp} (%)	ρ_{susp} (kg/m ³)
HM20	0,00	1137
HM20-04	0,42	1122
HM20-08	0,84	1124
HM30	0,00	1204
HM30-1	1,00	1176
HM30-2	2,00	1193

(*) Denominação adotada: HM (C_s)-(X_{disp})

As densidades das polpas de HM apresentadas na Tabela 1 foram determinadas à temperatura ambiente 25°C em triplicata, pelo método picnométrico clássico, medindo em balança analítica a massa correspondente ao volume da polpa contida no picnômetro de vidro. O picnômetro foi devidamente calibrado com água destilada na temperatura de medição.

Viscosidade Aparente

A metodologia utilizada para estes testes e o procedimento de obtenção de dados de

viscosidade aparente η , taxa de deformação $\dot{\gamma}$ ($\dot{\gamma} = 1,32 \cdot N$) e tensão cisalhante aplicada τ ($\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$) das polpas de HM foi adaptado da norma ASTM D2196-20 (ASTM, 2020). Os dados de τ em função de $\dot{\gamma}$ foram obtidos para as polpas de HM, sem e com adição do dispersante em concentrações pré-fixadas. Os valores experimentais de τ em função de $\dot{\gamma}$ foram ajustados às equações dos principais modelos de fluidos newtonianos generalizados (Equações 3 a 6 da Tabela 2) utilizando regressão não linear. A escolha do melhor modelo para descrever o comportamento reológico das polpas de HM baseou-se no coeficiente de determinação R^2 .

Tabela 2 – Modelos reológicos para o escoamento unidimensional de fluidos newtonianos generalizados independentes do tempo.

Modelo	Equação
Lei das Potências	$\tau = k\dot{\gamma}^n$ (3)
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}$ (4)
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n$ (5)
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + (\eta_c\dot{\gamma})^{0,5}$ (6)

Fonte: Bröckel *et al.* (2013).

Para assegurar a ruptura de possíveis microestruturas decorrentes de interligações entre partículas e/ou aglomerados, cada teste constou de três ciclos de medição da variável η (ou τ) na seguinte ordem: (ciclo 1) rampa decrescente de $\dot{\gamma}$ (132 s^{-1} ; 66 s^{-1} ; $23,4 \text{ s}^{-1}$ e $13,2 \text{ s}^{-1}$); (ciclo 2) rampa crescente de $\dot{\gamma}$ ($13,2 \text{ s}^{-1}$; $23,2 \text{ s}^{-1}$; 66 s^{-1} e 132 s^{-1}); (ciclo 3) novamente em rampa decrescente de $\dot{\gamma}$ (132 s^{-1} ; 66 s^{-1} ; $23,4 \text{ s}^{-1}$ e $13,2 \text{ s}^{-1}$) após desligar o rotor e deixar a amostra em repouso por alguns segundos. As temperaturas de 27 , 35 e 50°C foram selecionadas na realização destes testes.

A cada aumento ou diminuição de $\dot{\gamma}$ e após o tempo de estabilização da leitura no viscosímetro (que variava de 30 a 60 segundos), registrava-se o valor de η e computava-se o valor de τ . A temperatura da amostra era lida e registrada no início e no final de cada ciclo de medição. Cada teste era replicado, utilizando uma nova alíquota da polpa de HM que se manteve em agitação.

Concentração de dispersante

O dispersante aniônico poliácrlato de sódio (NaPA) foi gentilmente cedido pela fabricante *Kemira Chemicals* para a realização deste trabalho. Segundo ficha técnica, este dispersante poliácrlato de baixa massa molecular é uma solução aquosa de cor âmbar claro com concentração de sólidos de 40%, pH entre 7 e 8, densidade e viscosidade a 25°C de 1,3 g/cm³ e 45-70 cp, respectivamente.

Visando obter a faixa de trabalho para a concentração do dispersante NaPA, testes preliminares foram realizados no viscosímetro de forma a determinar a menor concentração do dispersante que viabilizasse o processamento das polpas concentradas de HM ($20\% \leq C_s \leq 30\%$) nesta faixa de viscosidade. O menor valor obtido para X_{disp} foi 0,42%. Falcione *et al.* (1980), utilizando solução aquosa dispersante de NaPA com 40% de sólidos, recomendam $0,3\% \leq X_{disp} \leq 3,5\%$. Consequentemente, estabeleceu-se a faixa de X_{disp} variando de 0,42% a 2% para as polpas analisadas.

Dependência no tempo

Foram realizados também testes para analisar a dependência temporal de τ para valores fixos de $\dot{\gamma}$ (132 s^{-1} e 66 s^{-1}) nas polpas de HM estudadas. Registrava-se o valor de η e computava-se o valor de τ para o valor fixo de $\dot{\gamma}$ durante o intervalo de tempo de 20 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise e a discussão dos resultados obtidos para descrever o comportamento reológico das polpas de HM são apresentadas para cada uma das polpas estudadas sem e com dispersante. Entretanto, para a polpa HM30 (sem dispersante), dados não foram obtidos devido à limitação do torque no rotor, mesmo a 50°C. Houve redução na quantidade de dados de escoamento das polpas HM20-08 a 35°C e 50°C e HM20-04 a 50°C devido à faixa recomendada para o torque aplicado (torque < 10%).

Sabe-se, pelos dados de sedimentação obtidos para a polpa HM30 (Campos, 2018),

que a mobilidade das partículas é bastante reduzida e, portanto, sua resistência ao escoamento é alta, ultrapassando a escala de leitura do aparelho utilizado. A polpa HM20, embora menos concentrada, tem também reduzida a mobilidade das suas partículas. Enfatiza-se que a adição do dispersante propicia a quebra das ligações entre partículas, mas não impede a formação ou a existência de hidros agregados quando em escoamento.

Viscosidade aparente

Os dados #1 e #2 representam os dados realizados em duplicatas, sendo que para o ajuste dos modelos foram utilizados os valores médios entre os dois conjuntos de dados. A área entre as curvas dos ciclos 2 e 3 representa a histerese do fluido e quanto maior a área entre essas duas curvas, maior o nível de tixotropia do fluido. Pelos dados de τ vs. $\dot{\gamma}$ para a polpa HM20-04 apresentados na Figura 2, não há sobreposição das curvas para os ciclos 2 e 3. Isso indica que ocorreram quebras das estruturas entre as partículas quando se varia a taxa de cisalhamento. Esse é um comum comportamento em suspensões, principalmente naquelas com alta concentração de sólidos. Essa histerese sugere um comportamento ligeiramente tixotrópico do fluido, indicando a necessidade de algum tempo para que o fluido readquirir a suas propriedades iniciais (ou até mesmo uma possível irreversibilidade das propriedades). Para todas as polpas de HM, o modelo de Casson (Equação 6) foi o que melhor representa o comportamento reológico das polpas estudadas. A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros determinados.

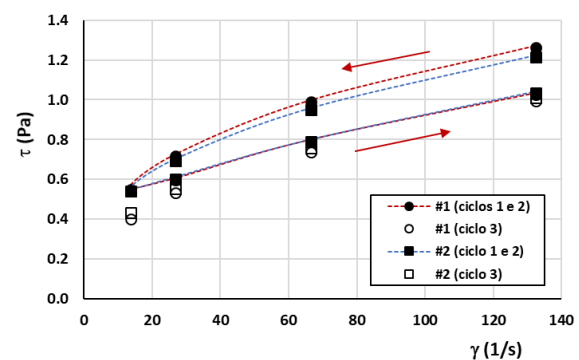


Figura 2 – Dados da tensão cisalhante, τ , em função da taxa de deformação, $\dot{\gamma}$, para a polpa HM20-04 a 27°C, segundo os ciclos efetuados.

Tabela 3 – Valores dos parâmetros do modelo de Casson obtidos pelo ajuste da Equação 6 aos dados experimentais.

Polpa de HM	T (°C)	τ_0 (Pa)	η_C (mPa.s)
HM20	27	0,38	1,6
	35	0,50	0,6
	50	0,34	1,9
HM20-04	27	0,25	2,0
	35	0,28	1,4
	50 ^(*)	0,27	0,6
HM20-08	27	0,19	2,1
	35 ^(*)	0,25	0,7
	50 ^(*)	0,30	0,4
HM30-1	27	0,75	2,6
	35	1,09	0,7
	50	0,70	1,7
HM30-2	27	1,06	1,3
	35	1,03	0,4
	50	0,74	0,3

(*) Testes com redução de dados devido à limitação do aparelho.

Os dados apresentados nas Figuras 3 e 4 não foram obtidos em equilíbrio, mas em curto tempo (< 60 segundos), o que representaria o início do bombeamento, condição mais crítica do escoamento, dado que τ diminui com o tempo. Portanto, os valores de τ_0 e η_C apresentados na Tabela 3 são restritos a um pequeno intervalo de tempo. Embora haja redução de dados em alguns testes, pode-se inferir pelos valores dos parâmetros apresentados na Tabela 3 que ocorre uma redução no valor de τ_0 com a adição do dispersante, melhorando a condição necessária para o escoamento das polpas. Além disso, há uma tendência de redução de η_C com o aumento da temperatura.

Essa melhoria na fluidez pode ser observada na Figura 3 que apresenta curvas de tensão cisalhante para as polpas HM20 e HM20-08 à mesma temperatura de 50°C. A polpa HM20-08 resiste menos ao escoamento, sendo possivelmente mais fácil de ser bombeada e atomizada com menor risco de entupimento. No entanto, para valores de $\dot{\gamma}$ mais elevados, as partículas tendem a se separar, desordenando o denso empacotamento e aumentando o volume do sistema. Consequentemente o fluido dispersante deixa

de atuar como lubrificante e η aumenta (Bröckel *et al.*, 2013).

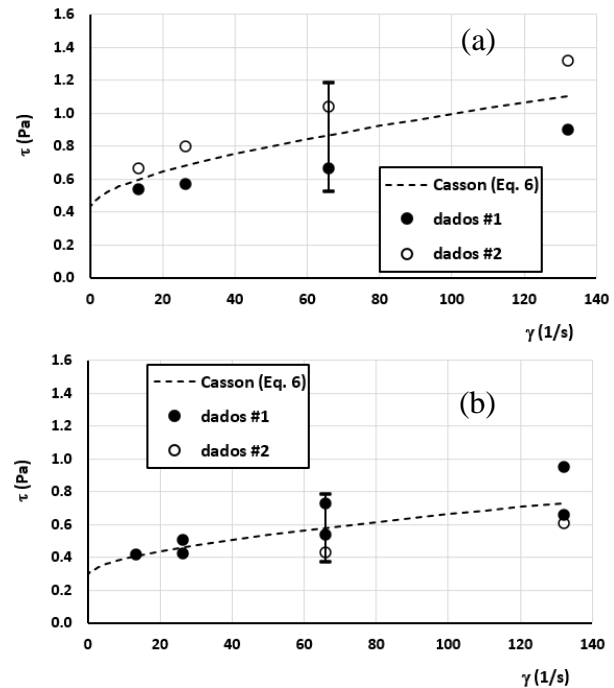


Figura 3 – Curvas de tensão cisalhante à temperatura de 50°C para as polpas (a) HM20 (b) HM20-08.

Para as polpas com 30% de sólidos, aquela que resultou em menor valor de τ_0 , melhorando as condições de seu bombeamento, foi a HM-R30-1 a 50°C (Figura 4). A adição de 1% de dispersante promoveu melhoria na fluidez da polpa (em comparação à polpa sem dispersante), entretanto, o aumento em X_{disp} de 1% para 2% nas polpas HM30 resulta também no acréscimo em τ_0 dificultando o escoamento inicial da suspensão devido ao efeito das interações do tipo ponte entre ramificações estendidas da molécula do dispersante, absorvido na superfície das partículas de HM.

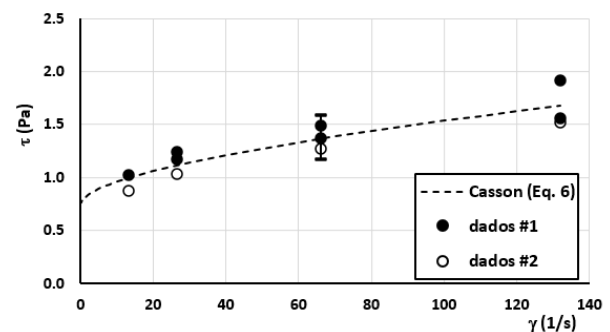


Figura 4 – Curvas de tensão cisalhante à temperatura de 50°C para as polpas HM30-1.

Dependência no tempo

É importante ressaltar que o comportamento reológico das polpas concentradas de HM é dependente do tempo, condição observada pela histerese apresentada na Figura 2. As cinco polpas de HM estudadas apresentam comportamento tixotrópico. O valor de τ decresce ao longo dos 20 minutos de teste em ambos os valores de $\dot{\gamma}$ (132 e 66 s⁻¹) e nas três temperaturas fixadas, exceção para HM30-2 a $\dot{\gamma} = 132$ s⁻¹ e $T = 50^\circ\text{C}$ (Figura 5b) em que τ tende a um pequeno acréscimo nos últimos 10 min de teste. Embora tal acréscimo seja inferior ao erro experimental, a tendência observada aponta uma provável mudança de comportamento, tixotrópico para reopético, para $X_{disp} > 2\%$.

Na Figura 5a, tem-se a curva típica de $\tau(t)$ para as polpas HM20 sem dispersante a $\dot{\gamma} = 132$ s⁻¹. Pode-se notar que os valores de τ a 35°C se situam próximos aos obtidos a 50°C, em alguns dos casos coincidindo entre si. Na Figura 5b, para as polpas HM30-2, nota-se que nesta polpa mais concentrada com o valor mais alto de X_{disp} , as curvas de $\tau(t)$ são distintas para as três temperaturas e com os valores de τ decrescendo com o aumento da temperatura.

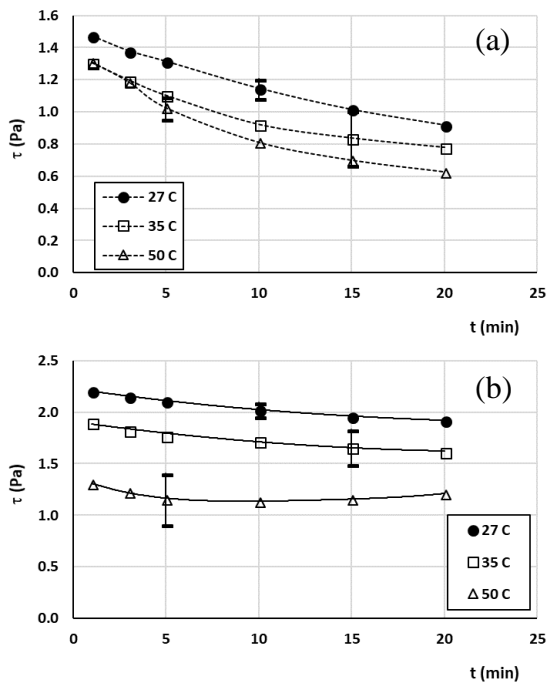


Figura 5 – Curvas de tensão cisalhante à taxa constante de $\dot{\gamma} = 132$ s⁻¹ em função do tempo para as polpas (a) HM20 (b) HM30-2.

A mudança de comportamento reológico da polpa HM30-2 a 50°C pode estar relacionada à evaporação de água da suspensão a valores mais elevados de temperatura. Uma pequena evaporação ocasionaria em um acréscimo significativo de C_s ao decorrer do experimento, dado o pequeno volume de amostra (8mL). O comportamento tixotrópico das polpas deve ser estudado a um período maior ($t > 20$ min) para garantir a manutenção da estabilidade das suspensões evitando a formação de agregados e, assim, definir os parâmetros de controle em tempo real de forma a viabilizar a atomização da polpa HM no secador.

CONCLUSÕES

O estudo do comportamento reológico de polpas concentradas de HM foi realizado predizendo modelos reológicos que descrevem o comportamento de cada polpa sob a ação de tensões cisalhantes. A adição de solução dispersante de NaPA melhorou a fluidez das suspensões obtendo polpas dispersas e mais estáveis. Para a polpa mais concentrada (30%), dentre as três temperaturas fixadas, $T = 50^\circ\text{C}$ propicia o menor valor de τ_0 melhorando as condições de seu bombeamento.

O aumento em X_{disp} de 1% para 2% nas polpas HM30 resultou no acréscimo em τ_0 , dificultando o escoamento inicial da suspensão. Sugere-se levantamento de dados adicionais de τ vs. $\dot{\gamma}$ em uma faixa maior de X_{disp} para verificar a estabilidade em $2\% \leq X_{disp} \leq 3,5\%$, como sugerido por Falcione *et al.* (1980).

As cinco polpas de HM-R estudadas apresentam um comportamento tixotrópico. A tendência de uma provável mudança de comportamento, tixotrópico para reopético, para $X_{disp} > 2\%$, deve ser mais bem estudada a um período maior ($t > 20$ min) para garantir avaliar a estabilidade e a viabilidade da atomização contínua de polpas de HM no secador *spray*.

AGRADECIMENTOS

Os autores são imensa e sinceramente gratos à Professora Maria Laura Passos por suas preciosas contribuições a este trabalho. Os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro na realização deste trabalho, e à Kemira Chemicals Brasil Ltda. pelo fornecimento de amostras.

NOMENCLATURA

C_s – concentração de sólidos (%)
 HM – hidróxido de magnésio
 k – constante do modelo reológico (Pa.s)
 m_s – massa de sólidos na suspensão (g)
 m_{susp} – massa da suspensão (g)
 m_{disp} – massa de solução dispersante (g)
 n – índice de comportamento do fluido (-)
 N – velocidade de rotação do rotor (rpm)
 NaPA – poliacrilato de sódio
 t – tempo (min)
 T – temperatura (°C)
 X_{disp} – fração de solução dispersante (b.s.)

Letras gregas

$\dot{\gamma}$ – taxa de cisalhamento (s^{-1})
 η – viscosidade aparente (Pa.s)
 ρ_{susp} – densidade da suspensão (kg/m^3)
 τ – tensão de cisalhamento (Pa)

REFERÊNCIAS

- ARAL, H.; HOUCHIN, M. R.; STRODE, P. R.; VAN MERKESTEIN, R.; BUSH, P. (1999), Magnesium hydroxide slurries, Patente número US5906804, 20p.
- ASTM (2020), Standard test methods for rheological properties of non-newtonian materials by rotational viscometer, American Society for Testing Materials, D 2096-20, United States, p.1-5.
- BIRCHAL, V. S.; ROCHA, S. D. F.; CIMINELLI, V. S. T. (2000), Technical note the effect of magnesite calcinations conditions on magnesia hydration, Minerals Engineering, Vol 13, p.1629-1633.
- BROCKEL, U.; MEIER, W.; WAGNER, G. (2013), Product Design and Engineering: Formulations of Gels and Pastes, Wiley-VCH, Weinheim, Alemanha.
- CAMPOS E. C. (2018), Estudo da estabilidade e secagem de polpas de hidróxido de magnésio. PPGEQ/UFG - Belo Horizonte - MG, 194p. (tese de doutorado).
- CAMPOS, E. C.; CHAVES, D. H. S.; SOUZA, L. H. O.; SOUSA, M. A.; BIRCHAL, V. S. (2019), Cinética de secagem de polpas de hidróxido de magnésio, Anais do XXXIX ENEMP 2019 - Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 117065, Belém - PA.
- FALCIONE, R. J.; MCMANIS, R. R.; AUFMAN, J. A. (1980), Polyacrylate pigment dispersants for magnesium oxide, Patente número US4230610, 2p.
- LIU, W.; HUANG, F.; WANG, Y. J.; ZOU, T.; ZHENG, J.; LIN, Z. (2011), Recycling $Mg(OH)_2$ nano-adsorbent during treating the low concentration of Cr^{VI} , Environmental Science and Technology, Vol 45, p.1955–1961.
- PILARSKA, A. A.; MARKIEWICZ, E.; CIESIELCZYK, F.; JESIONOWSKI, T. (2011), The influence of spray drying on the dispersive and physicochemical properties of magnesium oxide, Drying Technology, Vol 29, p.1210-1218.
- PILARSKA, A. A.; MYSZKA, K. B. K.; ROZMANOWSKI, T.; SZWARC-RZEPKA, K.; PILARSKI, K.; CHRZANOWSKI, Ł.; CZACZYK K.; JESIONOWSKI, T. (2015), Functional polypropylene composites filled with ultra-fine magnesium hydroxide, Open Chemistry, Vol 13, p.161–171.
- ROCHA, S. D. F.; CIMINELLI, V. S. T. (2001), Utilization of magnesium hydroxide produced by magnesia hydration as fire retardant for nylon 6-6,6; Polímeros: Ciência e Tecnologia, Vol 11, p.116-120.
- SANTOS, C. M. F. (2017), Avaliação do processo de hidroxilação da magnésia em sistema combinado reação-fragmentação. PPGEQ/UFG - Belo Horizonte - MG, 146p. (tese de doutorado).
- SUIHKONEN, R.; NEVALAINEN, K.; ORELL, O.; HONKANEN, M.; TANG, L.; ZHANG, H.; ZHANG Z.; VUORINEN, J. (2012), Performance of epoxy filled with nano- and micro-sized magnesium hydroxide, Journal of Materials Science, Vol 47, p.1480–1488.

- TONG, K.; SONG, X.; SUN, S.; XU Y.; YU, J. (2013), The rheological behavior and stability of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ aqueous suspensions in the presence of sodium polyacrylate, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 436, p.1111-1120.
- ZHANG, S.; CHENG, F.; TAO, Z.; GAO, F.; CHEN, J. (2006), Removal of nickel ions from waste water by $\text{Mg}(\text{OH})_2/\text{MgO}$ nanostructures embedded in Al_2O_3 membranes, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol 426, p.281–285.